

ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО И ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРУПНОМАСШТАБНЫХ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ

Ф.М.Алиев, Л.А.Зубков, К.С.Поживилко,
В.П.Романов

Методами малоуглового рассеяния рентгеновских лучей и рассеяния света показано наличие трансляционного порядка в голубой фазе холестерика. Обнаружено, что внешними проявлениями голубой фазы обладают макропористые стекла. Установлена аналогичность их корреляционных функций.

Особенности голубой фазы холестериков (ГФ) наиболее ярко проявляются в оптических экспериментах¹⁻⁶. Из этих экспериментов, а также из теоретического рассмотрения¹ ГФ следует, что тензорный параметр порядка, характеризующий корреляцию в ориентациях молекул, обладает пространственной трехмерной периодичностью^{1,2} с периодом порядка 2000 Å. До последнего времени остается неясным, сопровождается ли эта периодичность модуляцией плотности. Для решения этой проблемы в данной работе были проведены исследования малоуглового рассеяния рентгеновских лучей и индикатрис светорассеяния в голубой фазе холестерика и макропористых стеклах. Отметим, что рентгеноструктурный анализ является прямым методом регистрации неоднородностей плотности.

Рентгеновские измерения проводились на малоугловой камере Кратки в атмосфере гелия в интервале углов от 1,5 до 120° на длине волны $\lambda = 1,54 \text{ Å}$ (CuK_α -линия), что соответствует диапазону характерных размеров от 3500 до 40 Å. Угловое разрешение было не хуже, чем 0,35°, погрешность измерений интенсивности не превышала 1%. Интенсивность рассеянного света изучалась на установке, описанной в⁷. Источниками света служили He-Ne ($\lambda = 6328 \text{ Å}$) и аргоновый ($\lambda = 5145 \text{ Å}$), ($\lambda = 4658 \text{ Å}$) лазеры. Угол рассеяния θ изменялся от 30 до 160°. Исследовались полидоменные образцы холестерилолеата при температуре на 0,4°С ниже точки перехода в изотропную фазу, что соответствует температуре существования ГФ II. При съемке рентгенограмм жидкий кристалл помещался между лавсановыми пленками толщиной 15 мкм, фон от которых учитывался, и толщина слоя образца не превышала 1 мм. При оптических экспериментах использовалась откаченная цилиндрическая кювета с внутренним диаметром 16 мм и высотой 40 мм, заполненная обеспыленным жидким кристаллом.

На рис. 1 приведена рентгенограмма для ГФ II (кривая 1). Видно, что на рентгенограмме имеется четко выраженный пик с максимумом при значении волнового числа $q = 3,7 \times 10^5 \text{ см}^{-1}$. Здесь же для сравнения изображены кривые для изотропной (2) и холестерической (3) фаз, на которых отсутствует пик и имеет место монотонный спад интенсивности. Отсюда следует, что пик в ГФ связан с периодическим изменением плотности (постоянная решетки $d \approx 1700 \text{ Å}$), а не с дифракцией на холестерической спирали.

На рис. 2 (кривая 1) приведена зависимость корреляционной функции $\varphi(q)$ от волнового числа, полученная из измерений поляризованной компоненты интенсивности рассеянного света. Для этого измеренная интенсивность $I_v^v(\theta, \lambda)$ записывалась в виде:

$$I_v^v(\theta, \lambda) = \text{const } \varphi(q) / \lambda^4,$$

где $\mathbf{q} = \mathbf{k}_n - \mathbf{k}_p$, $q = (4\pi n / \lambda) \sin \frac{\theta}{2}$, \mathbf{k}_n и \mathbf{k}_p – волновые векторы падающего и рассеянного света.

Обратим внимание, что положения максимумов кривых 1 на рис. 1 и 2 совпадают. Из этого следует, что в рентгеновских и оптических измерениях изучаются структуры с одним и тем же периодом решетки, хотя причины рассеяния разные. Рентгеновское рассеяние происходит на флуктуациях электронной плотности, а основной вклад в интенсивность рассея-

ного света вносят флуктуации тензорного параметра порядка. Об этом свидетельствует значение коэффициента деполаризации, который с учетом поправок на вращение плоскости поляризации равен 0,75. Данные по светорассеянию позволяют оценить размер однородно упорядоченных областей, который составляет 8 – 10 периодов решетки.

Аналогичные оценки для рентгена не проводились, так как полуширина пика для кривой 1 (рис. 1) существенным образом искажена аппаратной функцией прибора.

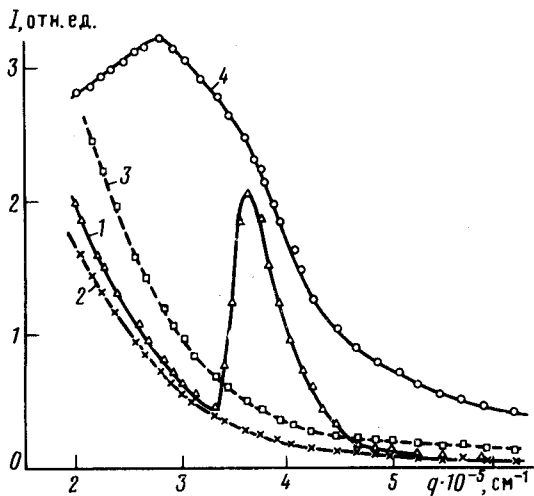


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеянного рентгеновского излучения от волнового числа: 1 – ГФ II, 2 – изотропная фаза, 3 – холестерическая фаза ($T - T_c = 3^\circ\text{C}$), 4 – макропористое стекло; (входная щель: 20 мкм, щель детектора: 40 мкм × 8 мм)

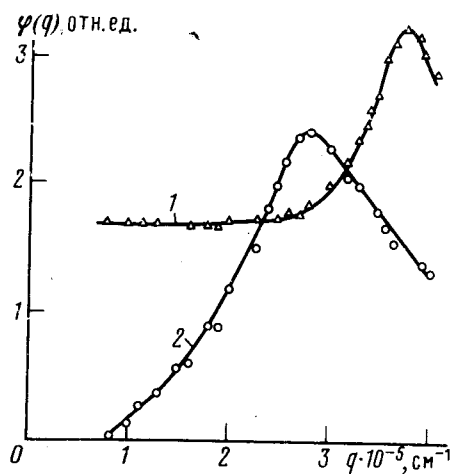


Рис. 2. Зависимость корреляционной функции от волнового числа: 1 – ГФ II, 2 – макропористое стекло, пропитанное бензолом

Из вида функции $\varphi(q)$ следует, что при углах рассеяния $\approx 90^\circ$ интенсивность светорассеяния, с учетом множителя $1/\lambda^4$, для синего света почти на порядок больше, чем для красного, с чем и связан характерный цвет голубой фазы.

Естественно предположить, что любая прозрачная структура, имеющая подобную корреляционную функцию должна обладать внешними проявлениями голубой фазы. Удобным объектом для проверки этого предположения является макропористое стекло⁸, в котором можно создать неоднородности с заранее известными средними размерами. Нами использовался образец, полученный выщелачиванием натриевоборосиликатного стекла с размером пор $\approx 1000 \text{ \AA}$, расстоянием между порами $\approx 1500 \text{ \AA}$ и их объемной долей 0,38. Фотография, полученная на электронном микроскопе, показывает некоторую упорядоченность в расположении элементов твердой фазы. При оптических измерениях поры заполнялись иммерсионной жидкостью. При этом образцы становятся прозрачными и при визуальном наблюдении не отличны от голубой фазы холестериков.

Индикатриса светорассеяния измерялась в цилиндрических образцах диаметром 5 мм и высотой 4 см, которые крепились внутри кюветы так, чтобы кювета и образец были соосны. В качестве иммерсионной жидкости использовался бензол при температуре $53,7^\circ\text{C}$, который заливали в кювету. Для рентгеновских исследований использовались пластины толщиной от 0,1 до 0,2 мм.

Результаты рентгеновских и оптических измерений для макропористого стекла представлены на рис. 1 (кривая 4) и рис. 2 (кривая 2). Как и для ГФ II, на этих кривых имеются

максимумы, положения которых совпадают и соответствуют характерному размеру $\approx 2200 \text{ \AA}$. Степень деполяризации рассеянного света оказалась равной 0,1, т. е. в отличие от ГФ, рассеяние, в основном, обусловлено неоднородностями показателя преломления дуплярного типа. Другое отличие состоит в том, что в пористых стеклах вклад в рассеяние не связанный с пространственной структурой пренебрежимо мал.

Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что независимо от молекулярной природы вещества, наличие скоррелированных в пространстве крупномасштабных неоднородностей приводит к сходным оптическим проявлениям. Для детального описания таких структур необходимо совместное использование двух типов экспериментов — оптического и малоуглового рентгеновского.

Авторы выражают благодарность В.А.Белякову и В.Е.Дмитриенко за обсуждение работы и Е.И.Кацу за интерес к работе.

Литература

1. Беляков В.А., Дмитриенко В.Е. УФН, 1985, 146, 369.
2. Демихов Е.И., Долганов В.К., Крылова С.П. ЖЭТФ, 1987, 93, 1750.
3. Беляков В.А., Демихов Е.И., Дмитриенко В.Е., Долганов В.К. ЖЭТФ, 1985, 89, 2035.
4. Кизель В.А., Прохоров В.В. ЖЭТФ, 1984, 87, 450.
5. Meiboom S., Sammon M. Phys. Rev. Lett., 1980, 44, 882.
6. Marcus M. Phys. Rev. Ser. A., 1982, 25, 2272, 2276.
7. Аджемян Л.В., Аджемян Л.Ц., Зубков Л.А., Романов В.П. ЖЭТФ, 1980, 78, 551.
8. Жданов С.П. Кн.: Физика и химия силикатов, под ред. Шульца М.М., Гребенщикова Р.Г. Л.: Наука 1987, с. 175.

Ленинградский
государственный университет им. А.А.Жданова

Ленинградский
институт точной механики и оптики

Поступила в редакцию
28 марта 1988 г.